

《国内调节效应的方法学研究》

文献汇报



汇报人：水果糖

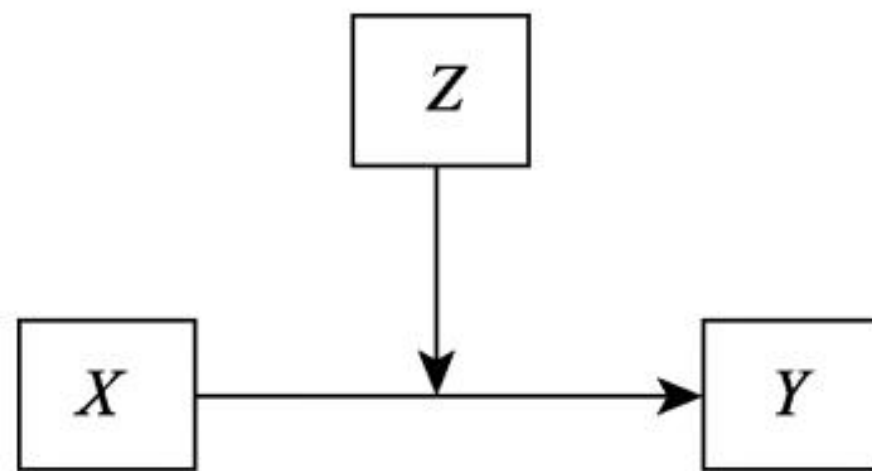


汇报时间：2024.9.18

调节效应是什么？

当自变量 X 与因变量 Y 的关系受到第三个变量 Z 的影响时，变量 Z 称为调节变量(见图1(a))。

调节变量既可能影响 X 与 Y 之间关系的**方向**，也可能影响关系的**强度**(Baron & Kenny, 1986)。



(a) 概念图



当调节变量取不同水平的值时，自变量对结果变量的影响程度不同

六大主题（显变量→潜变量；连续→分类；单层→多层；横断→纵向）

- 显变量的调节效应
- 潜变量的调节效应
- 多层数据的调节效应
- 基于两层回归模型的单层调节分析
- 纵向数据的调节效应
- 调节和中介的整合模型(包括有调节的中介和有中介的调节模型)

掌握内涵

理解原理

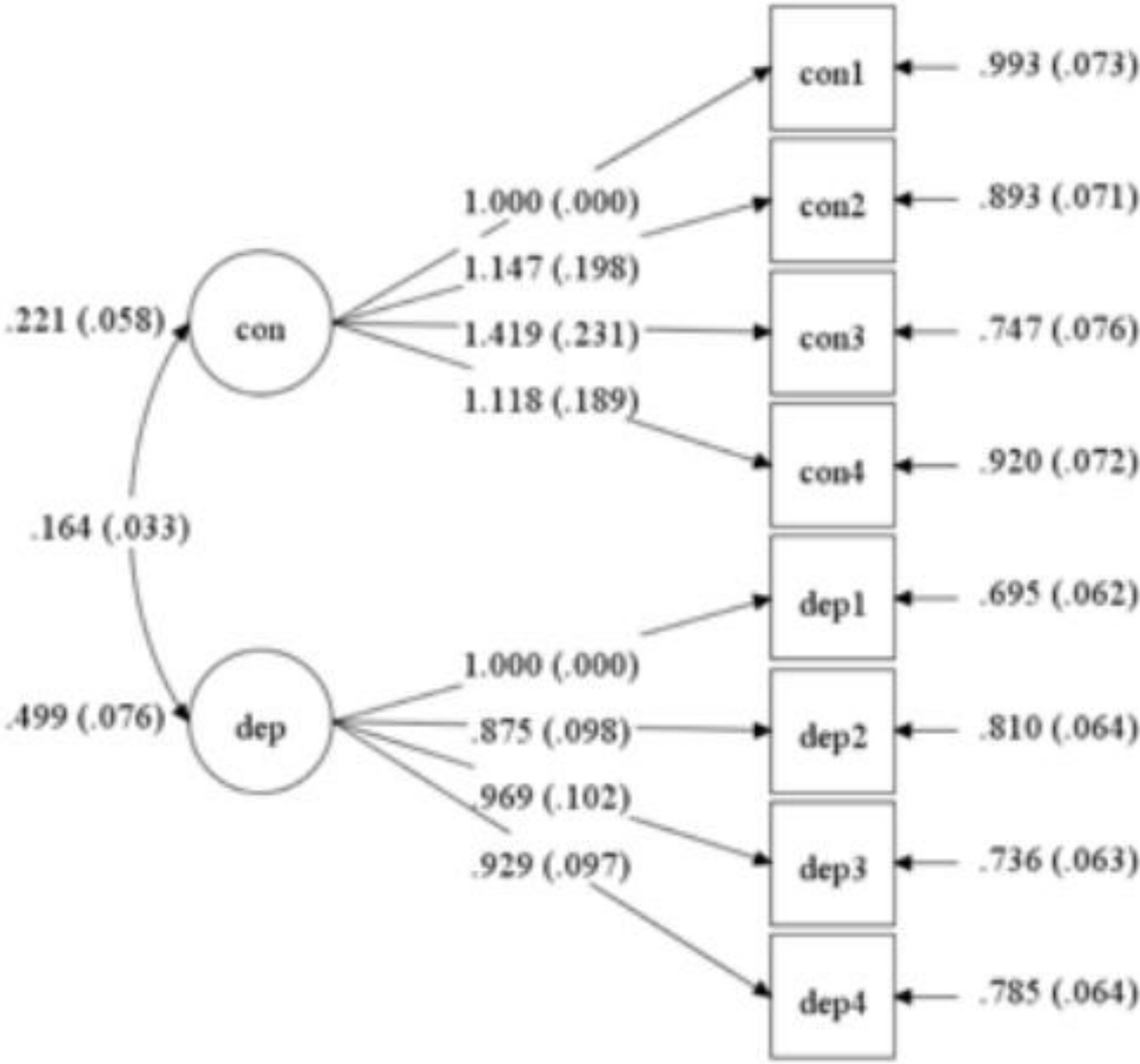
能用

显变量是什么？

显变量与潜变量的主要区别在于是否可以直接观测。

- 显变量（Manifest Variable）直接观测到的变量。
- 潜变量（Latent Variable）无法直接测量到的变量。

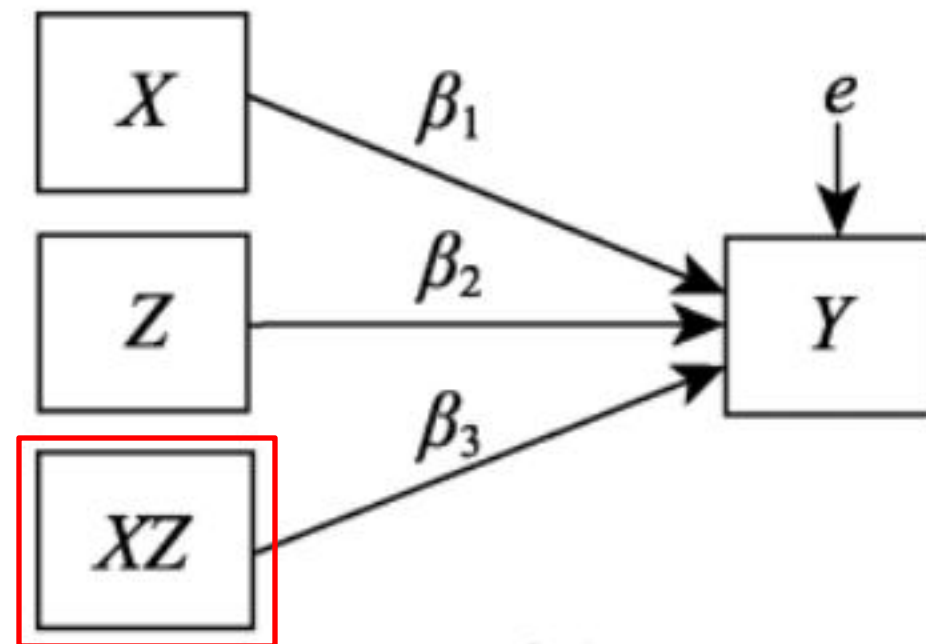
潜变量通常通过显变量来间接推断，显变量被看作是潜变量的具体表现或反应指标。



例如，在研究满意度时，满意度本身是一个潜变量，因为它涉及到顾客对产品或服务的整体感受，这种感受不能直接测量，需要通过一系列的问题或条目（如S1—S7七个条目，显变量）来间接测量，这些条目的总和和可以看作是潜变量的表现。

显变量的调节效应

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Z + \beta_3 XZ + \varepsilon$$



(b) 路径图

一些重要参数

简单斜率

$$(1) \quad \longrightarrow \quad Y = (\beta_0 + \beta_2 Z) + (\beta_1 + \beta_3 Z)X + \varepsilon \quad (2)$$

调节效应 (β_3)

如果回归系数 β_3 显著，就表示调节效应显著。当调节效应显著时，可将方程(1)重写可得方程(2)。

效应量 (ΔR^2)

$\Delta R^2 = R_1^2 - R_0^2$ 表示，其中 R_1^2 表示回归方程(1)的测定系数， R_0^2 表示回归方程(1)去掉乘积项 XZ 后的测定系数。 ΔR^2 显著 $\neq 0$ 也能表示调节效应显著。一般认为 $\Delta R^2 > 0.02$ ，调节效应显著才有实质性意义(温忠麟，叶宝娟，2014)。

简单斜率 ($\beta_1 + \beta_3 Z$)

反映了在调节变量 (Z) 的不同取值情况下，自变量 (X) 对因变量 (Y) 的影响程度 (斜率) 是如何变化的，可通过选点法 (pick-a-point approach) 和 J-N 法 (Johnson-Neyman 法) 进行显著性检验(方杰 等，2015；温忠麟，刘红云，2020)。

显变量的调节效应

- 中心化

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Z + \beta_3 XZ + \varepsilon \quad (1)$$

每个变量减去均值

减少多重共线性（X和XZ之间、Z和XZ之间）

影响X和Z的回归系数，改善结果理解

- 标准化

所有变量都标准化(Z_Y 、 Z_X 和 Z_Z)，接着再产生乘积项 $Z_X Z_Z$

增加可比性，增强解释力

$$Z_Y = \beta'_0 + \beta'_1 Z_X + \beta'_2 Z_Z + \beta'_3 Z_X Z_Z + \varepsilon' \quad (3)$$

显变量的调节效应

• 简单斜率检验

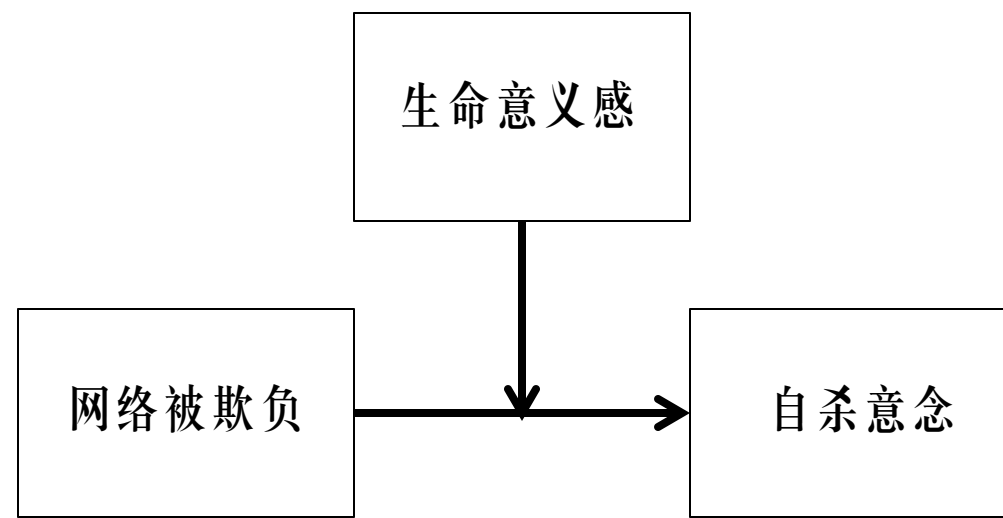
➤ 选点法

固定Z的若干值(常选M、 $M \pm SD$),划分为高、中、低三个水平
可用 2-way_linear_interactions.xls

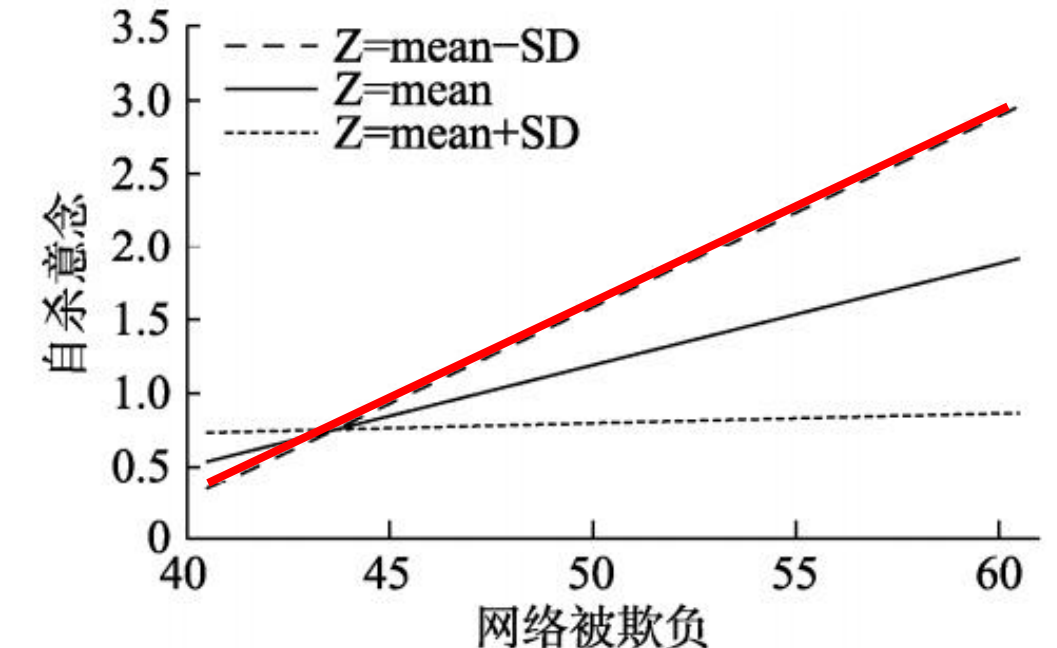
(<http://www.jeremydawson.co.uk/slopes.htm> 下载)

➤ J-N法

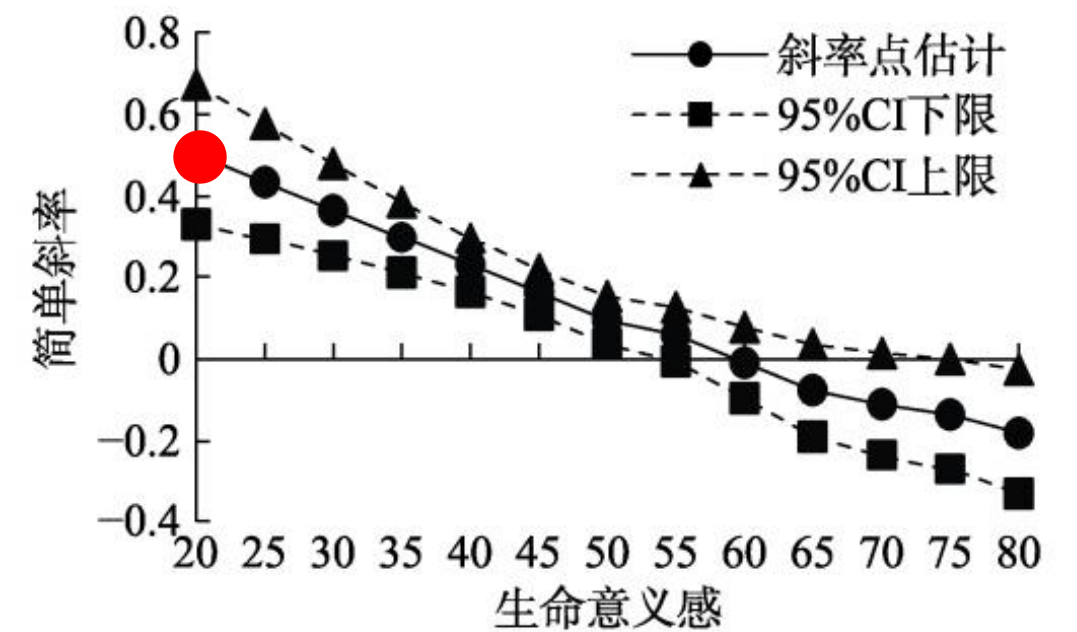
简单斜率 $\beta_1 + \beta_3 Z$ 的显著性检验的p值刚好等于0.05时, 得出 Z_{min} 和 Z_{max} (即 $\beta_1 + \beta_3 Z$ 显著不为0的Z的取值区间, 详见方杰等, 2015)。



$$t = \frac{\beta_1 + \beta_3 Z}{\sqrt{se_{\beta_1}^2 + 2Zcov(\beta_1, \beta_3) + Z^2 se_{\beta_3}^2}} \quad (4)$$



(a) 调节效应示意图



(b) 简单斜率图

显变量的调节效应

• 简单斜率检验

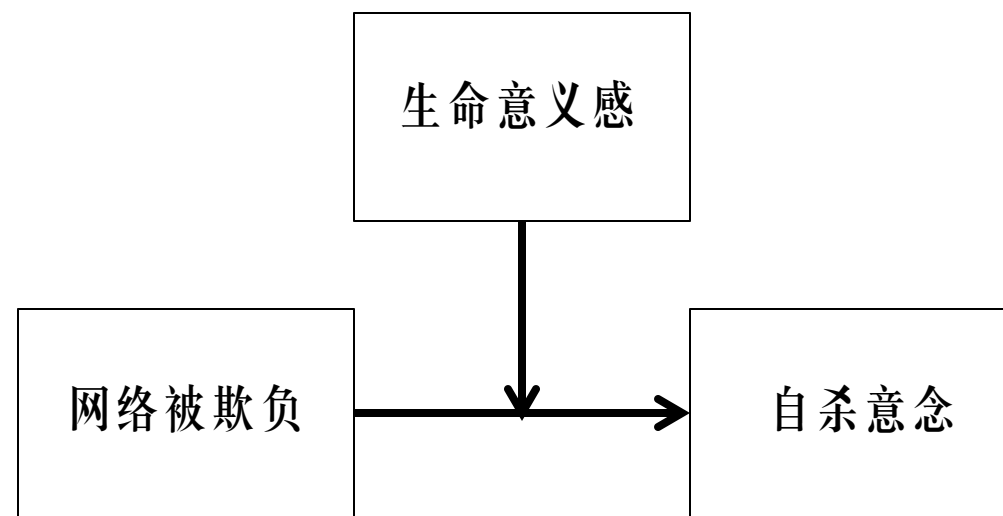
➤ 选点法

固定Z的若干值(常选M、 $M \pm SD$),划分为高、中、低三个水平
可用 2-way_linear_interactions.xls

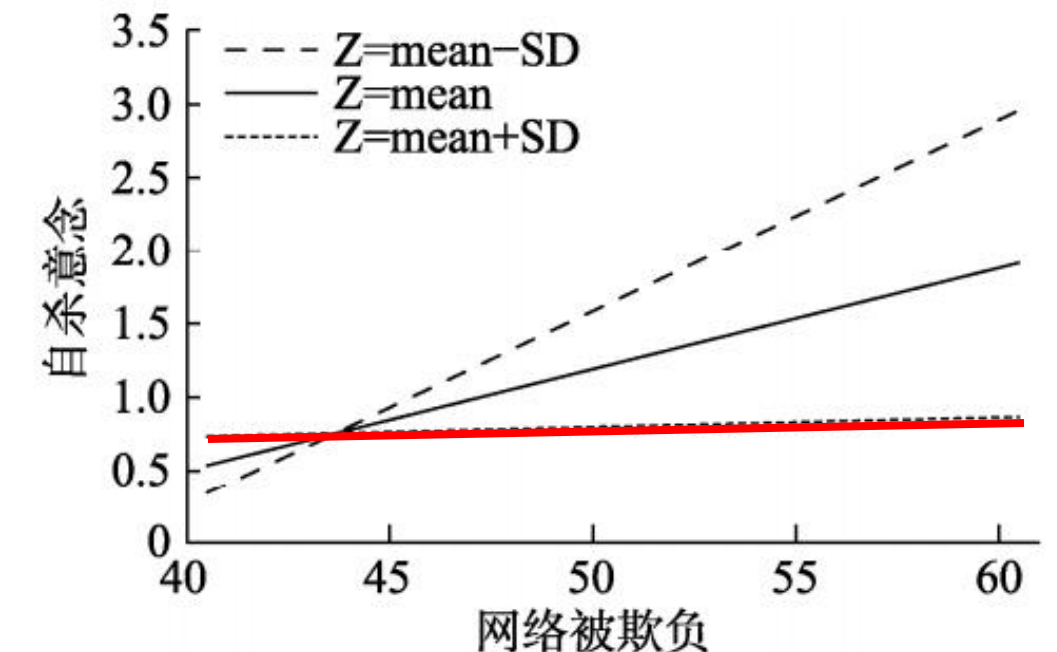
(<http://www.jeremydawson.co.uk/slopes.htm> 下载)

➤ J-N法

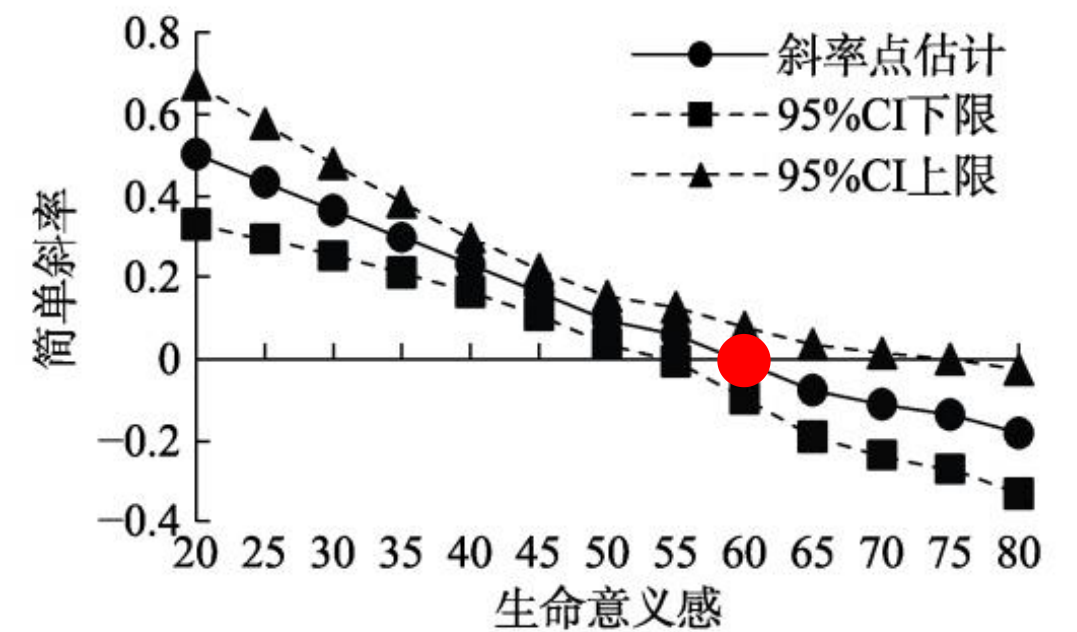
简单斜率 $\beta_1 + \beta_3 Z$ 的显著性检验的p值刚好等于0.05时, 得出 Z_{min} 和 Z_{max} (即 $\beta_1 + \beta_3 Z$ 显著不为0的Z的取值区间, 详见方杰等, 2015)。



$$t = \frac{\beta_1 + \beta_3 Z}{\sqrt{se_{\beta_1}^2 + 2Zcov(\beta_1, \beta_3) + Z^2 se_{\beta_3}^2}} \quad (4)$$



(a) 调节效应示意图



(b) 简单斜率图

显变量的调节效应

类别变量的讨论（因变量是连续的）：

- 自变量和调节变量**均为类别变量**→方差分析

调节效应→交互作用

效应量→ η^2 或偏 η^2

简单斜率检验→简单主效应检验

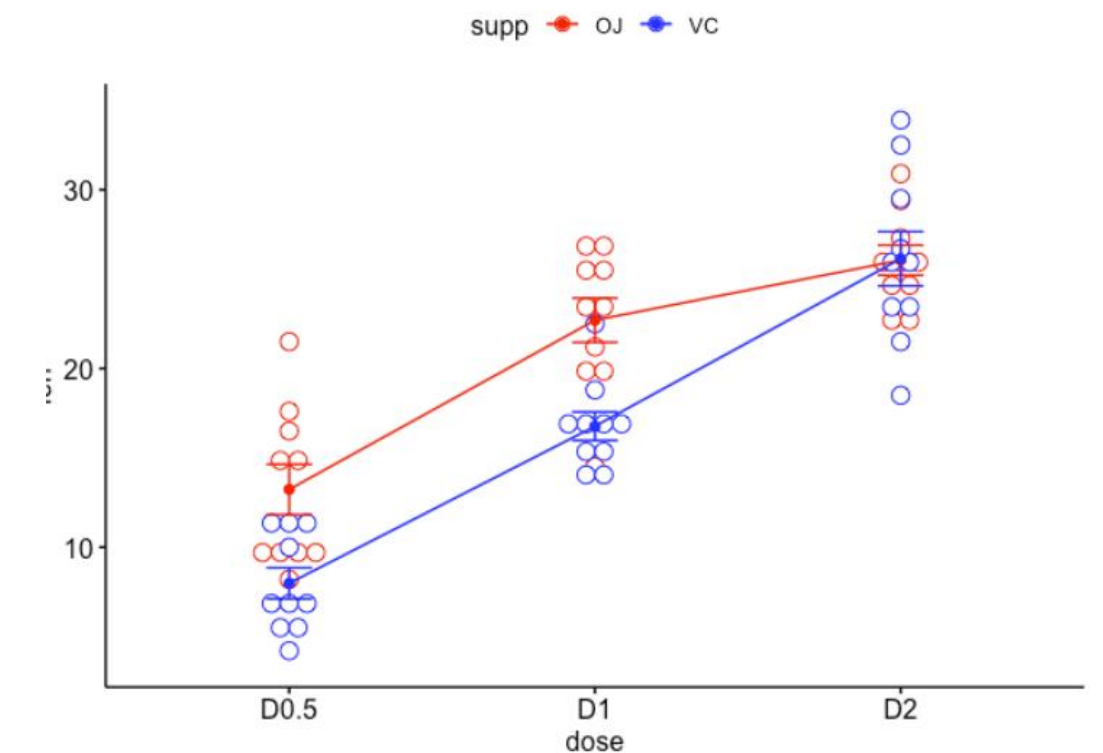
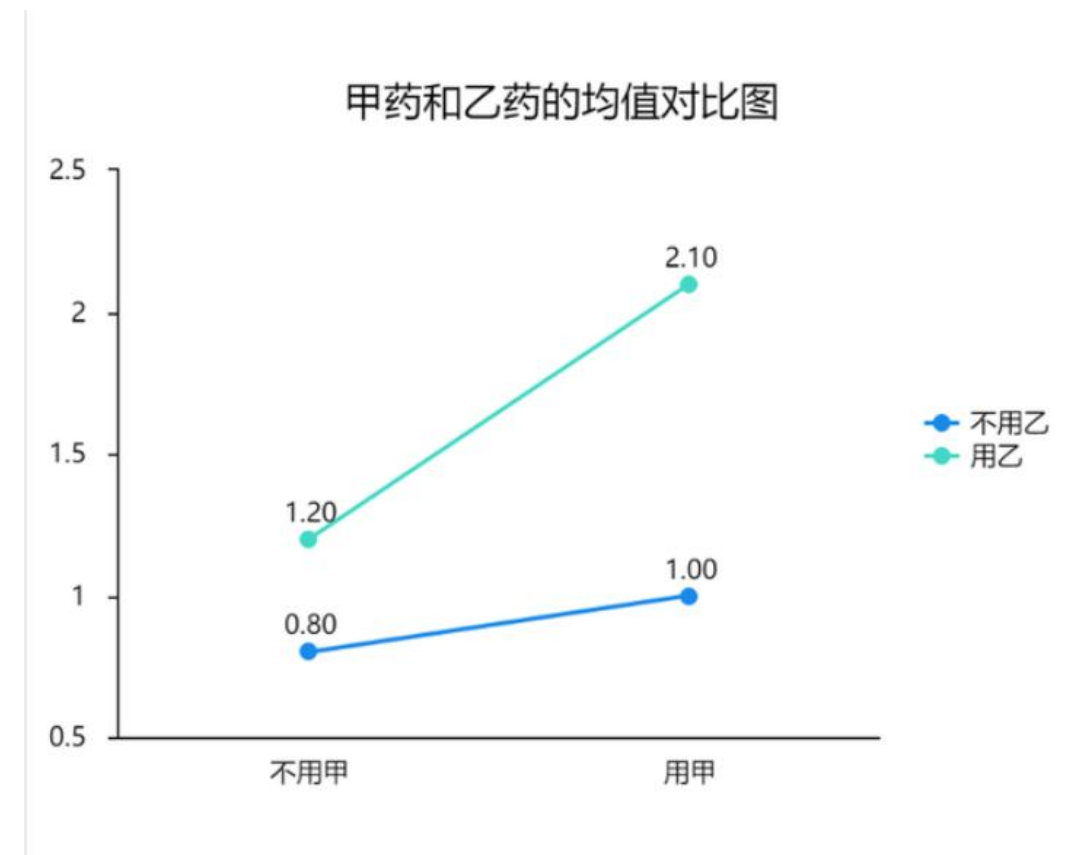
- 自变量和调节变量中一个是**二分变量**一个是**连续变量**→层次回归

- 自变量和调节变量为**多类别变量**（ $k \geq 3$ ）→虚拟编码

K个类别创建k-1个虚拟编码，作为开关

OR

分组回归检验回归系数是否完全相等



潜变量的调节效应

- 调节变量为**类别（显）变量**，自变量为**潜变量**

多组结构方程模型：1.结构不变性；2.弱不变性；3.回归系数不变性
受限较多：

- 1.第Ⅱ类错误率上升
- 2.无法估计调节效应大小
- 3.分组子样本可能太小

- 自变量和调节变量均为**潜变量**（SEM > 回归）

回归：

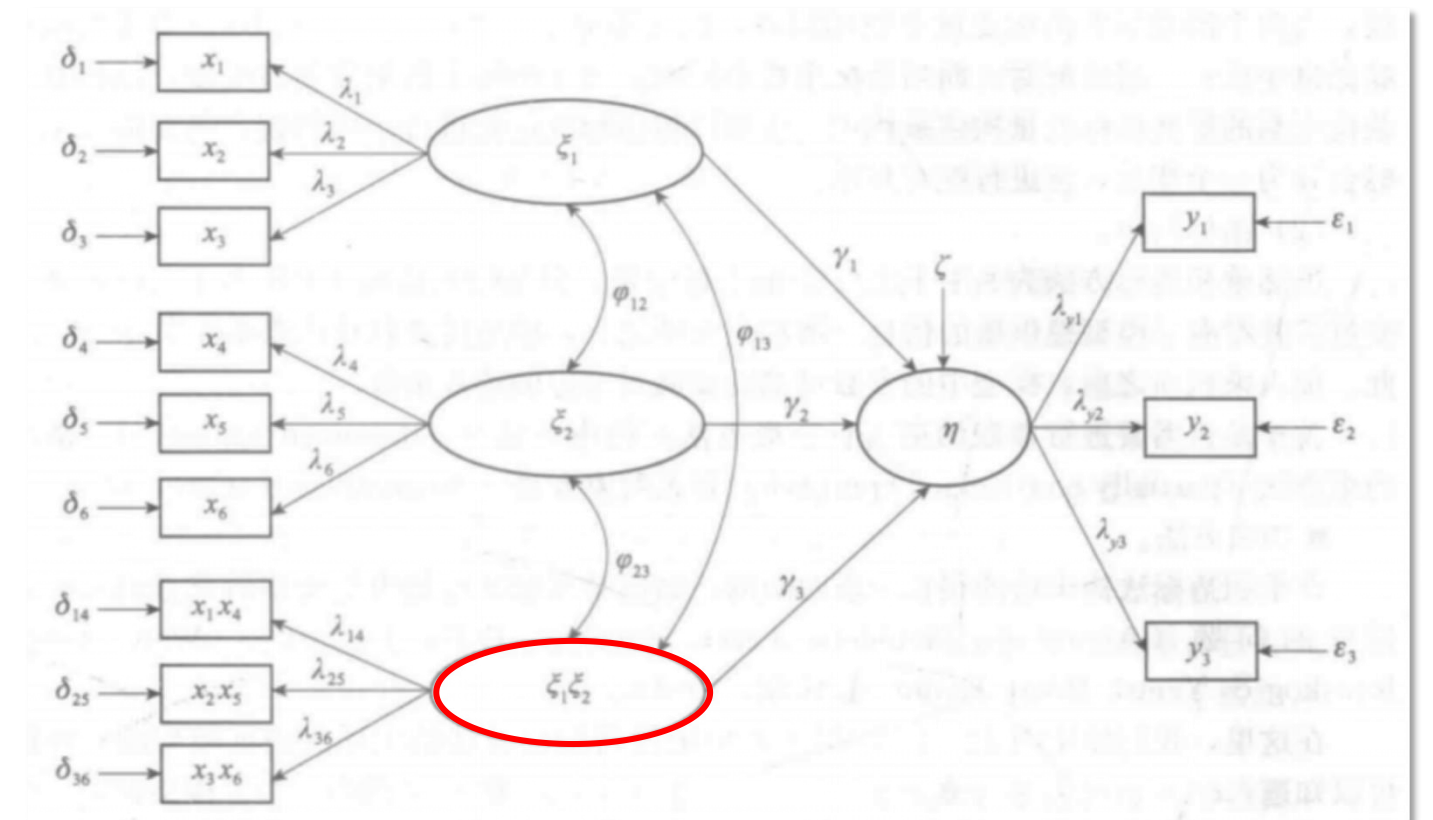
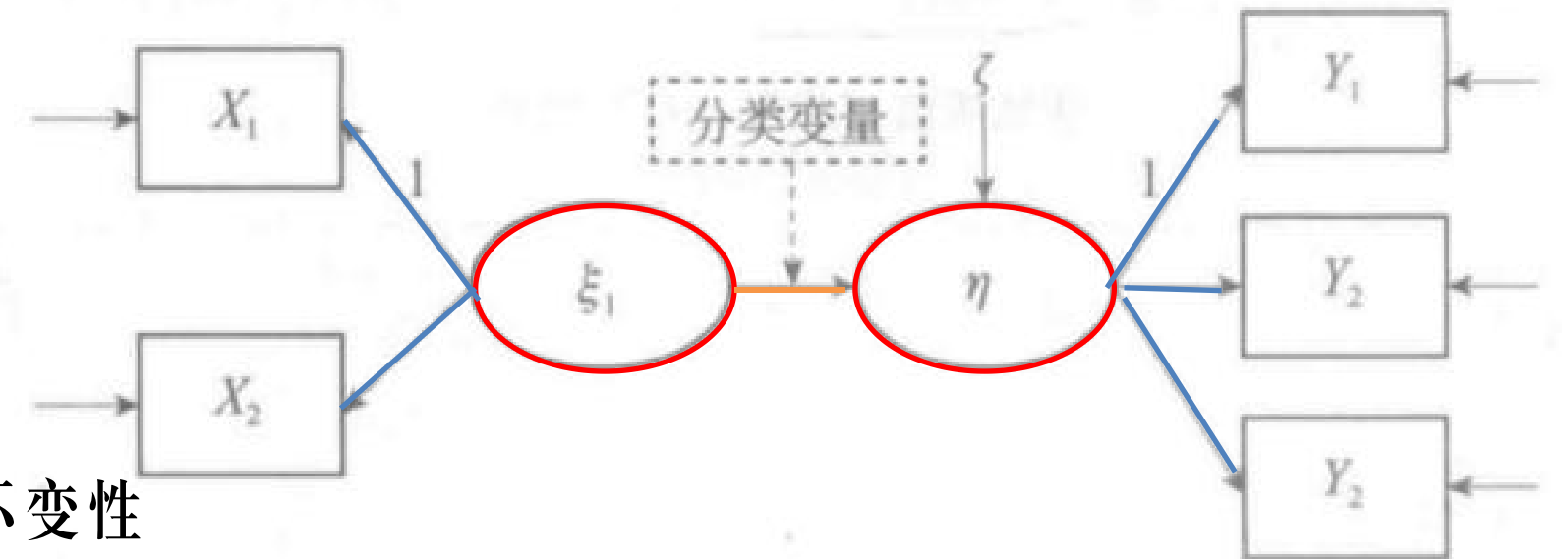
潜变量因子得分回归分析

两步最小二乘回归

SEM：

多组结构方程模型

带有潜变量乘积项的结构方程模型



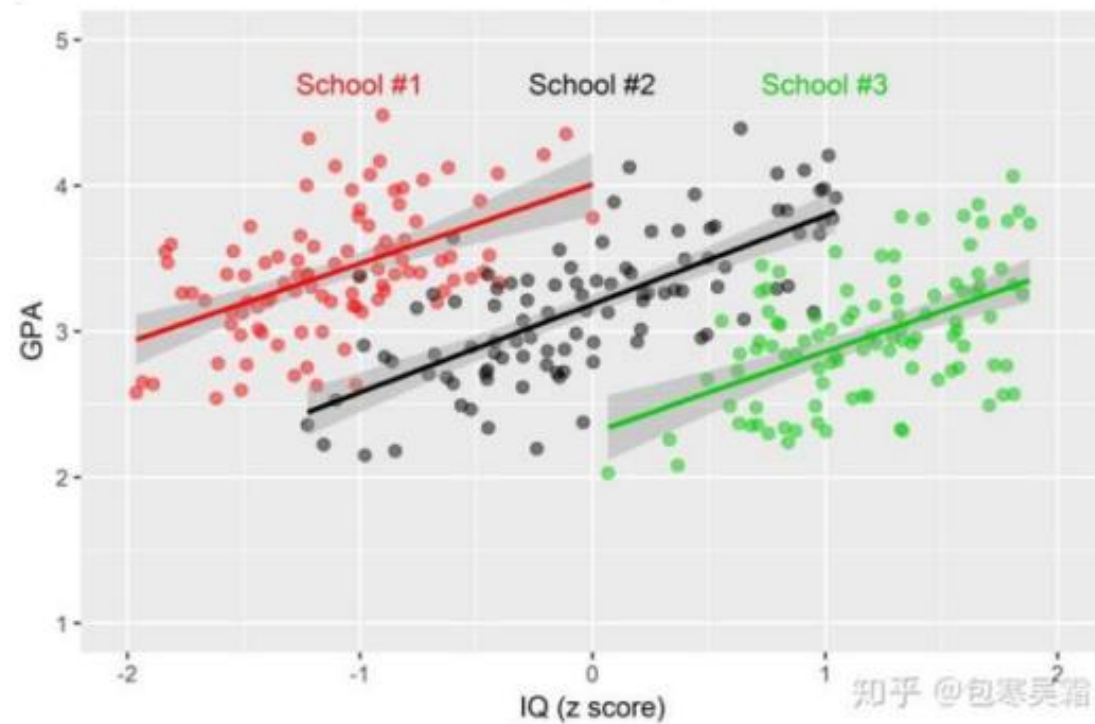
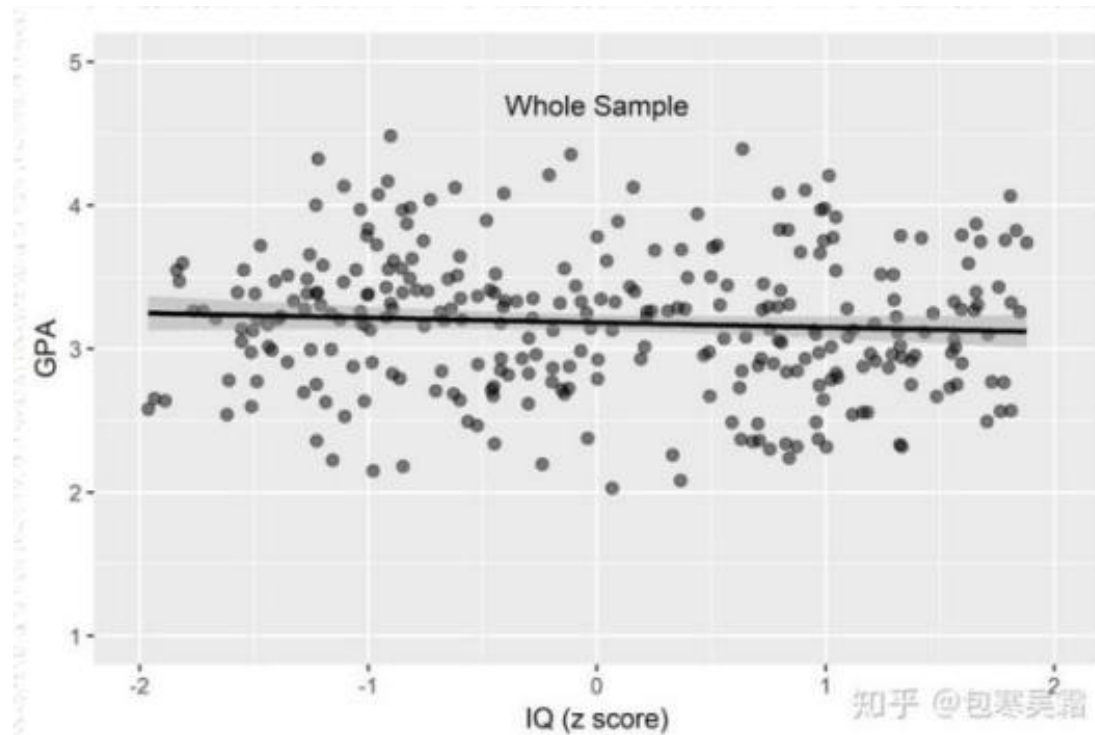
有/无约束乘积指标法

无需乘积指标

贝叶斯法、潜调节结构方程法（LMS）、准极大似然估计法（QML）

多层数据的调节效应

嵌套数据



混淆的多层调节效应模型

无法区分组间和组内

$$\text{层 1: } Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (11)$$

$$\text{层 2: } \beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + \mu_{0j} \quad (12)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_j + \mu_{1j} \quad (13)$$

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{11}X_{ij}Z_j + \mu_{1j}X_{ij} + \varepsilon_{ij} + \mu_{0j} \quad (14)$$

无混淆的多层调节效应模型

引入组均值可能导致抽样误差

$$\text{层 1: } Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}(X_{ij} - \bar{X}_{.j}) + \varepsilon_{ij} \quad (15)$$

$$\text{层 2: } \beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}\bar{X}_{.j} + \gamma_{02}Z_j + \gamma_{03}\bar{X}_{.j}Z_j + \mu_{0j} \quad Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}\bar{X}_{.j} + \gamma_{02}Z_j + \gamma_{03}\bar{X}_{.j}Z_j + \gamma_{10}(X_{ij} - \bar{X}_{.j}) + \beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_j + \mu_{1j} \quad \gamma_{11}(X_{ij} - \bar{X}_{.j})Z_j + \mu_{1j}(X_{ij} - \bar{X}_{.j}) + \varepsilon_{ij} + \mu_{0j} \quad (17)$$

多层结构方程的调节效应模型

- 随机系数预测法通过将随机斜率作为因变量，对调节变量进行回归分析，检验跨层调节效应。
- 潜调节结构方程法在同层调节效应分析中使用，允许研究者在模型中包含潜变量的交互项。

两层回归的单层的调节效应

线性回归存在不足

- X与Z地位平等，可以互换，违背了调节变量的理论意义
- 多元回归的误差方差齐性在调节效应中难以满足
- 效应量不能直接反映Z对X→Y关系的调节程度

因此需要借助两层回归来分析单层数据

$$\text{层 1: } Y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_i + \varepsilon_i \quad (18)$$

$$\text{层 2: } \beta_{0i} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_i + \mu_{0i} \quad (19)$$

$$\beta_{1i} = \gamma_{10} + \gamma_{11}Z_i + \mu_{1i} \quad (20)$$

σ_1^2 显著：直接报

σ_1^2 不显著：比较两层回归模型和多元回归模型的BIC指数（哪个小用哪个）

$$R_{\beta_{1i}}^2 = \frac{\text{Var}(\gamma_{10} + \gamma_{11}Z_i)}{\text{Var}(\beta_{1i})} = \frac{\gamma_{11}^2 \text{Var}(Z_i)}{\gamma_{11}^2 \text{Var}(Z_i) + \sigma_1^2}, \quad (21)$$

纵向数据的调节效应

仅有Y重复测量（X为二分变量）：构建新变量

$$Y_{\text{diff}} = Y_2 - Y_1$$

$$Y_{\text{diff}} = d_D + b_D Z + \varepsilon_D$$

仅有X和Y，且重复测量：交叉滞后模型（前一时间点调节后一时间点）

$$X_{it} = \beta_X X_{i(t-1)} + \gamma_X Y_{i(t-1)} + c_X X_{i(t-1)} Y_{i(t-1)} + \varepsilon_{Xit} \quad (22)$$

$$Y_{it} = \beta_Y Y_{i(t-1)} + \gamma_Y X_{i(t-1)} + c_Y X_{i(t-1)} Y_{i(t-1)} + \varepsilon_{Yit} \quad (23)$$

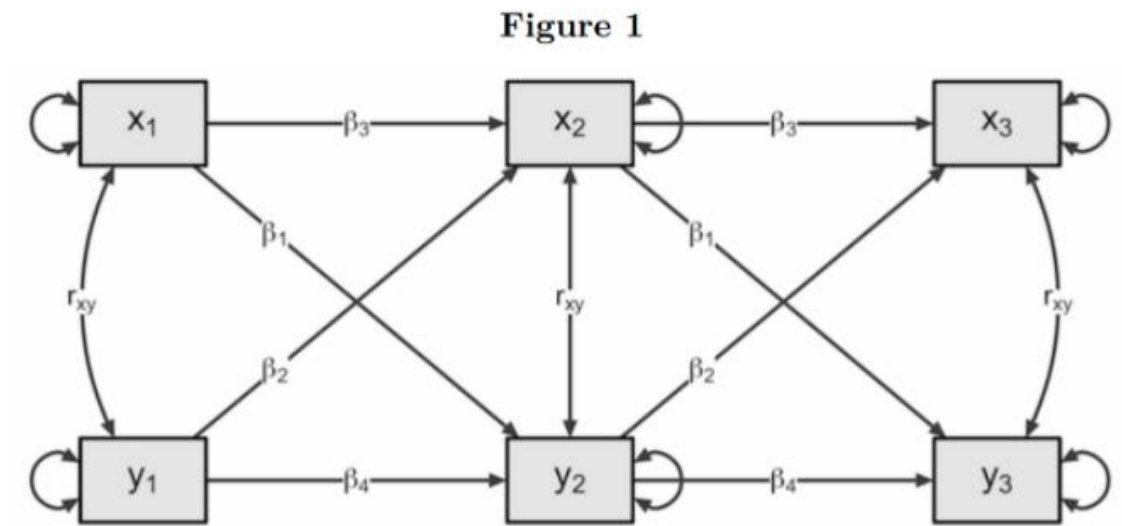
X、Y、Z重复测量

多层模型：测量点为第一层级，观测个体为第二层级

潜变量增长模型：自变量、调节变量、因变量、调节项

乘积指标法

潜调节结构方程法（LMS）



未来展望：

第一发展趋势：潜调节结构方程法与贝叶斯法的结合

在统计软件Mplus 8.2及以上版本中得以实现

在多层调节效应分析中，贝叶斯估计法优于极大似然估计法

第二发展趋势：多个变量的调节效应分析

根据调节变量之间是否存在相互影响，可以区分为有调节的调节模型和并行多重调节模型

未来研究可以探索如何从众多潜在调节变量中识别出真正有效的调节变量

第三发展趋势：纵向数据的调节效应分析

现有模型可能存在混淆调节效应的问题，即个体内变化和个体间差异混合在一起

基于随机截距的交叉滞后分析原理的无混淆调节效应分析方法

使用动态结构方程模型分析密集追踪数据的调节效应

谢谢大家！ 恳请批评指正



汇报人：水果糖



汇报时间：2024.9.18